

第四篇 同步电机之

第十三章

同步发电机在大电网上运行

授课教师：花为

东南大学电气工程学院电机与电器系

Email: huawei1978@seu.edu.cn

http://ee.seu.edu.cn/te_187.htm

第十三章

同步发电机在大电网上运行

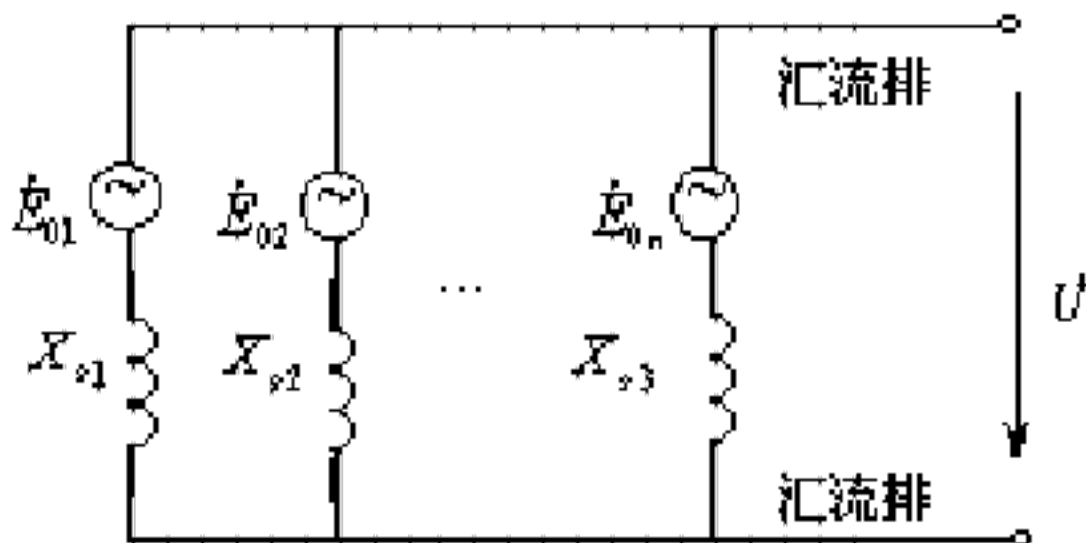
- 同步发电机的并联运行
- 隐极同步发电机的功角特性
- 凸极同步发电机的功角特性
- 同步发电机的有功功率调节
- 无功功率的调节和 V 形曲线
- 同步电动机与同步补偿机
- 同步发电机的进相运行

1. 同步发电机的并联运行

- 并联运行的优点
- 并联运行的条件
- 并联运行的方法

I 并联运行的优点

- 单机供电的缺点：不能保证供电质量(电压和频率的稳定性)和可靠性(发生故障就得停电)，无法实现供电的灵活性和经济性
- 解决方式：通过**并联**可将几台发电机或几个电站并成一个电网



I 并联运行的优点

- 提高用电质量
- 减少发电厂的储备容量
- 提高发电厂运行的经济性
- 提高电厂建设的效益
- 提高用电的可靠性

电网对单台发电机而言， $U=\text{const}$ ， $f=\text{const}$ ，可以成为无穷大电网或无穷大汇流排。
并联运行就是单台发电机和无穷大电网的并联运行。

II 并联运行的条件

发电机并入到电网时，要求在短时间内（几个周波）不产生电流的冲击，因此并网时需满足下述条件：

- 发电机的频率等于电网频率
- 发电机的电压幅值等于电网电压的幅值
- 发电机的电压相序与电网的相序相同
- 在并网时，发电机的电压相角与电网电压的相角一样

如果上述条件有一个不满足，都会对发电机运行产生严重的后果：在绕组中产生环流，引起发电机功率振荡，增加运行损耗，运行不稳定等。

III 并联运行的方法

- **整步过程**：为了投入并联所进行的调节和操作过程。
- 实用的整步方法有两种：
 - **准确整步法**：把发电机调整到完全合乎并联的条件
 - **自整步法**：利用电磁场把转子自动牵入同步
- 整步前的准备
 - **检查并联条件** 通常用电压表测量电网电压 U_1 ，并调节发电机的励磁电流使得发电机的输出电压 $U=U_1$ 。
 - **确定合闸时刻** 借助**同步指示器**检查并调整**频率**和**相位**以确定合闸时刻。

准确整步法：直接接法

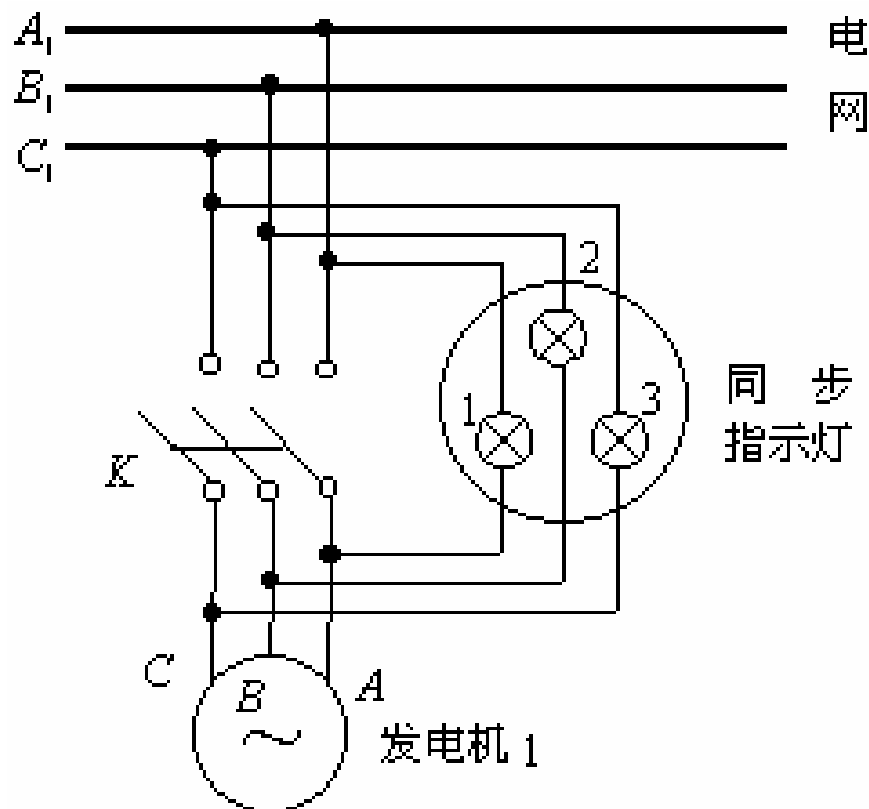
➤ **同步指示器**：由三个同步指示灯组成。

➤ **接法**：直接接法和交叉接法

➤ **直接接法（灯光熄灭法）**：

A_1-1-A ， B_1-2-B ， C_1-3-C

● **判断相序**：电压调整后，如果相序一致，三个灯光应同时呈现出时亮时暗的交替。如果灯光轮流亮暗，则说明相序不一致，应调整发电机的出线相序或电网的引线相序，严格保证相序一致



● **判断同频率**：通过调节发电机的转速改变频率，直到三个灯亮度不再闪烁

● **判断同相位**：等待三个灯光同时变暗的瞬间（相位相同），且A和A₁之间电压为零，即可合闸并网

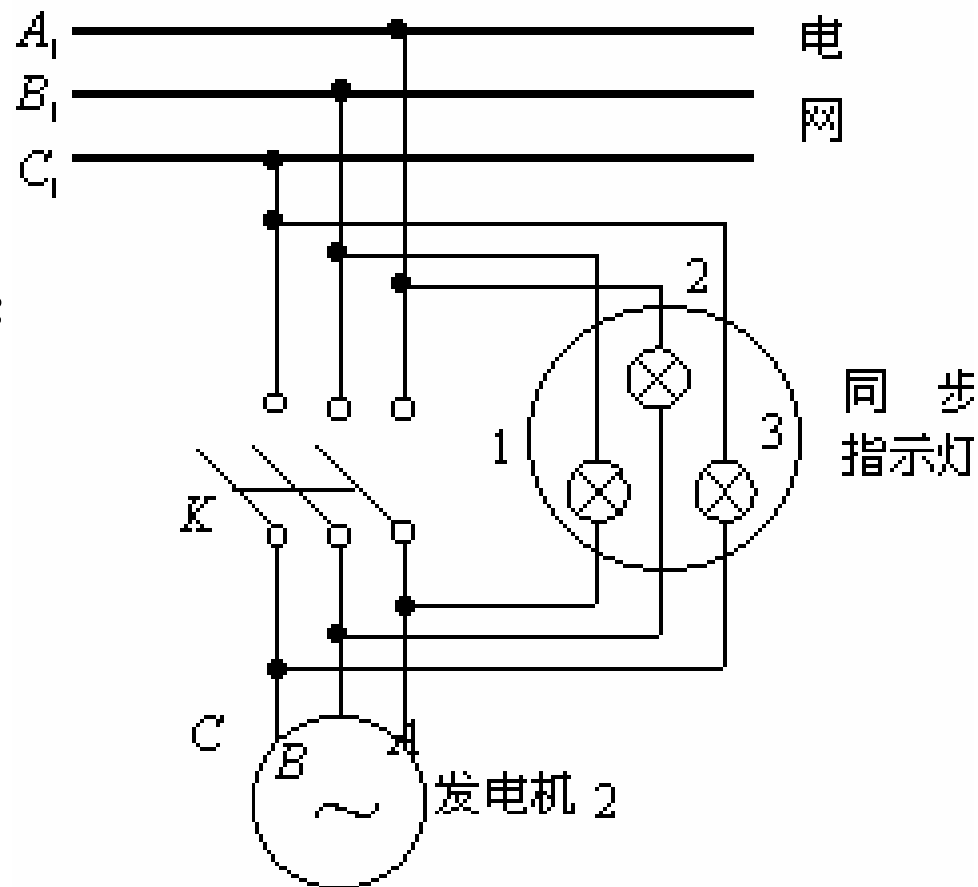
准确整步法：交叉接法

➤ 交叉接法（灯光旋转法）：

A_1 -2-B, B_1 -1-A, C_1 -3-C

- 电压调整好后，如果相序一致，则灯光旋转，如灯光同步则说明相序不一致

- 若 f' 不等于 f ，可以根据三个灯旋转次序（方向），判断出发电机频率和电网频率的大小，使用较多



- 通过调节发电机的转速改变频率，直到灯光旋转十分缓慢时，说明频率十分接近，这时等待灯 3 完全熄灭的瞬间到来，即可合闸并网

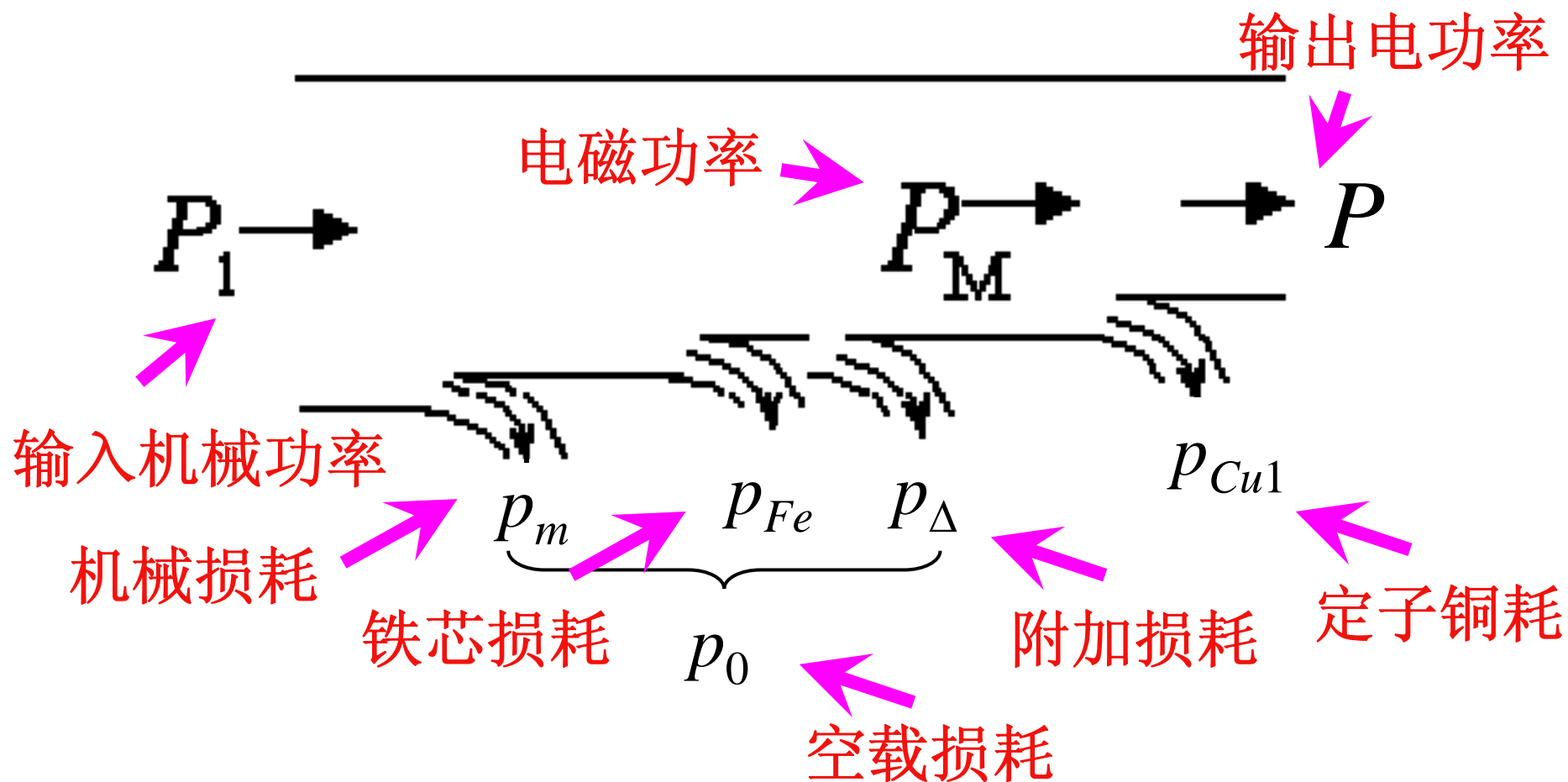
自整步法

- 前提：相序一致
- 将励磁绕组通过电阻短接，约为励磁电阻的10倍
- 拖动到接近同步速(相差2~5%)，在无励磁电流的情况下，将发电机接入电网
- 再接通励磁并调节励磁，依靠定子磁场和转子磁场之间的电磁转矩将转子拉入同步转速，并网过程结束
- 需要注意的是：励磁绕组必须通过一限流电阻短接，因为直接开路，将在其中感应出危险的高压；直接短路，将在定、转子绕组间产生很大的冲击电流
- 优点：操作简单，方便快捷
- 缺点：合闸时有冲击电流
- 适用于事故状态下的紧急并联

2. 隐极同步发电机的功角特性

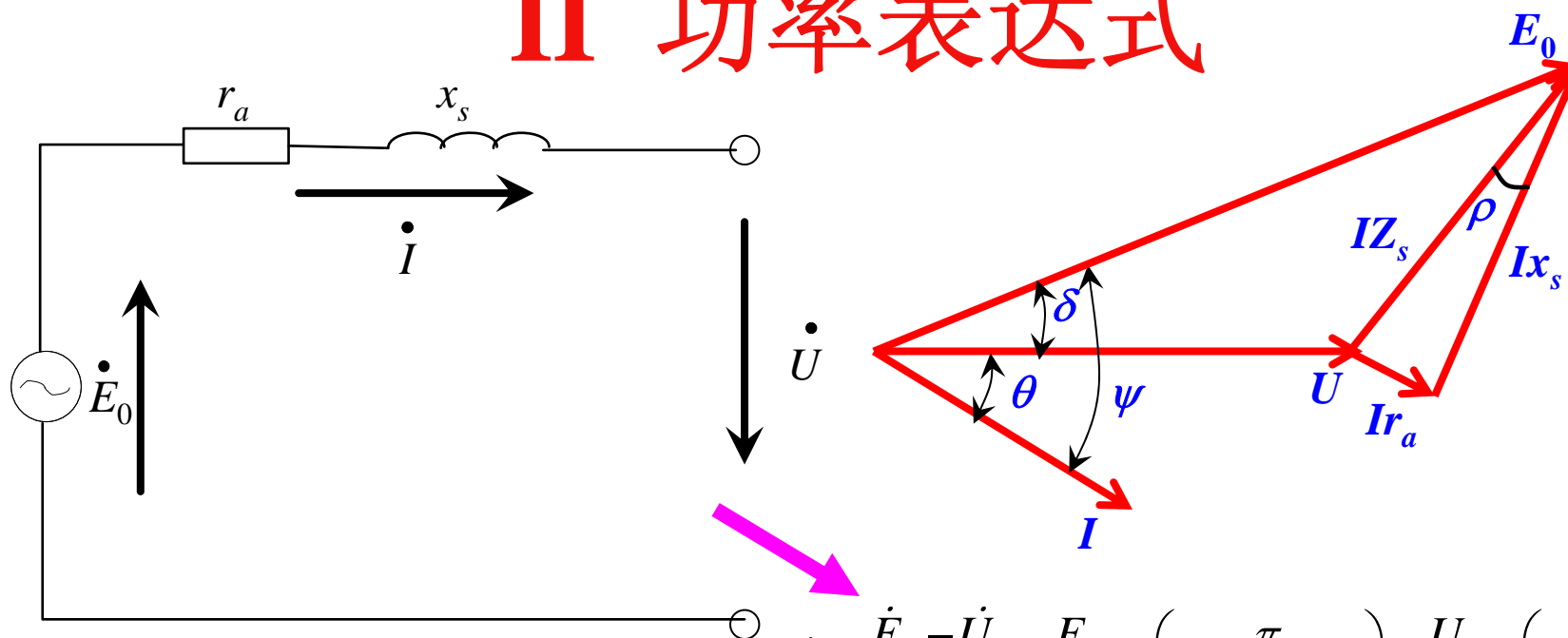
- 功率流程
- 功率表示式
- 功角特性
- 转矩特性

I 同步发电机的功率流程



$$P_M - P = p_{cu1} = I^2 r_a$$

II 功率表达式



$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_0 - \dot{U}}{Z_s} = \frac{E_0}{z_s} \angle \left(\delta - \frac{\pi}{2} + \rho \right) - \frac{U}{z_s} \angle \left(-\frac{\pi}{2} + \rho \right)$$

$$P = UI \cos \theta = \dot{U} \dot{I}$$

$$P_M = UI \cos \theta + I^2 r_a = E_0 I \cos \psi = \dot{E}_0 \dot{I}$$

$$\dot{U} = U \angle 0^\circ \rightarrow \dot{E}_0 = E_0 \angle \delta$$

$$\rho = \tan^{-1} \frac{r_a}{x_s} \rightarrow Z_s = z_s \angle \left(\frac{\pi}{2} - \rho \right)$$

$$P = \frac{E_0 U}{z_s} \sin(\delta + \rho) - \frac{U^2}{z_s} \sin \rho \quad \text{发电}$$

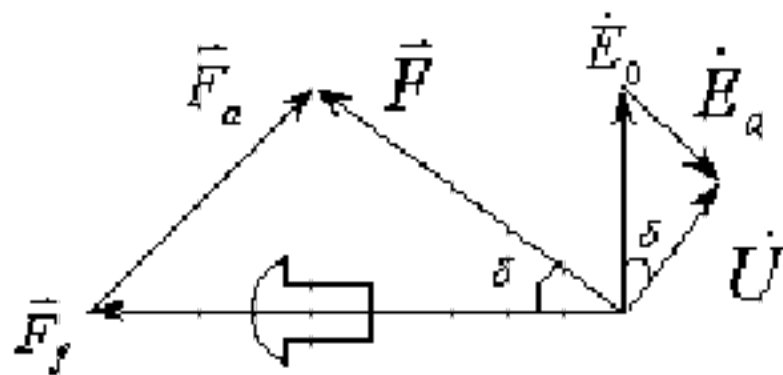
$$P_M = \frac{E_0 U}{z_s} \sin(\delta - \rho) + \frac{E_0^2}{z_s} \sin \rho \quad \text{电动}$$

II 功率表达式

$$P = \frac{E_0 U}{z_s} \sin(\delta + \rho) - \frac{U^2}{z_s} \sin \rho \quad \text{如忽略 } r_a, \text{ 则 } \rho = 0$$

$$P = P_M = \frac{E_0 U}{x_s} \sin \delta = P_{\max} \sin \delta$$

- **时间上**：端电压（ **U 与 E 相位基本相同**）和空载电势之间的相位差
- **空间上**：合成磁场轴线与转子磁场轴线之间夹角
- 稳定运行时， **F_f** 和 **F** 之间无相对运动， **δ** 固定
- 功角 **δ** 为正值时，为发电机运行

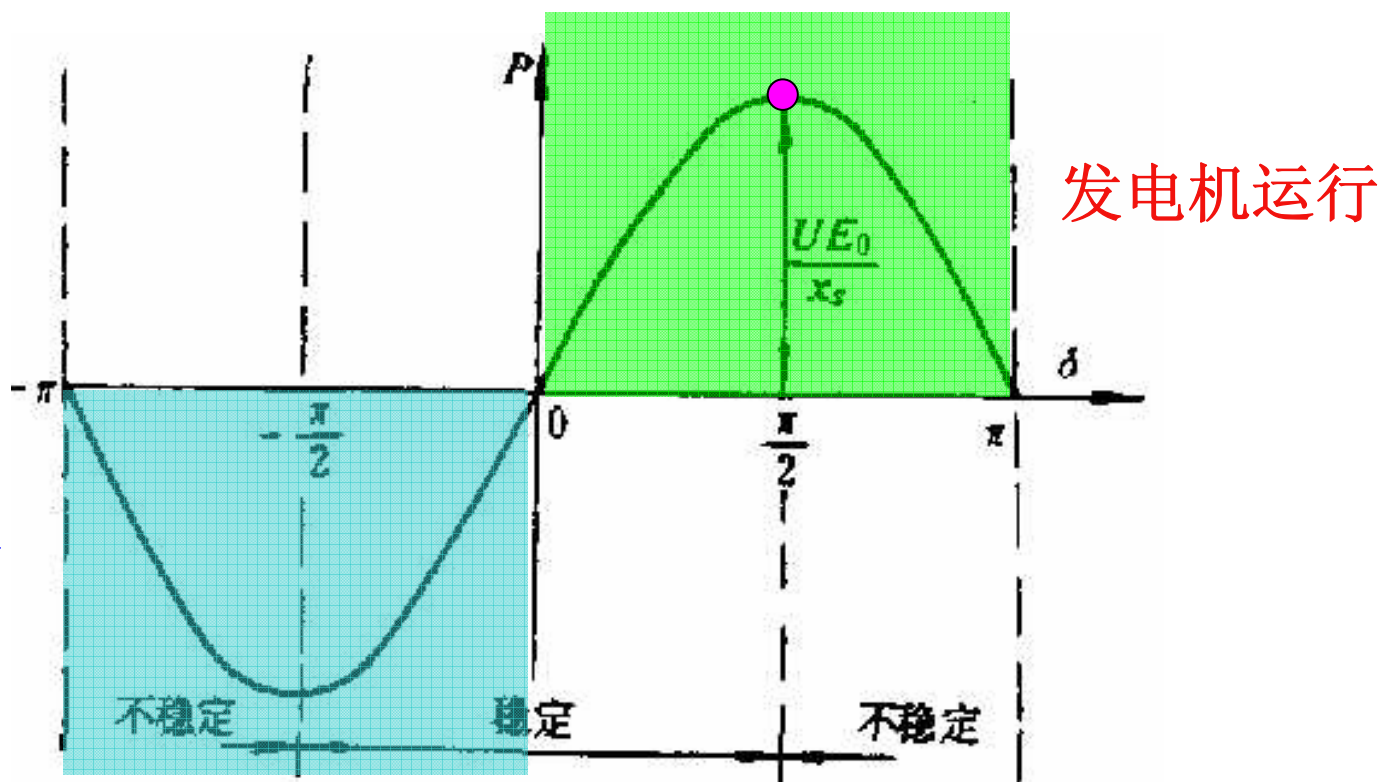


III 功角特性（忽略电枢电阻）

同步功率：同步电机中所产生的电磁功率

$$P = P_M = \frac{E_0 U}{x_s} \sin \delta = P_{max} \sin \delta$$

电动机运行



IV 转矩特性

$$T = \frac{P_M}{\Omega} = \frac{p}{\omega} P_M = \frac{p}{\omega} \times \frac{E_0 U}{z_s} \sin \delta$$

→ 转矩特性与功角特性形状相同

过载能力：最大功率与额定功率之比

$$\delta = \delta_N \quad \underline{P_N = \frac{E_0 U}{x_s} \sin \delta_N} \quad P_{max} = \frac{E_0 U}{x_s}$$

→ $k_M = \frac{1}{\sin \delta_N}$

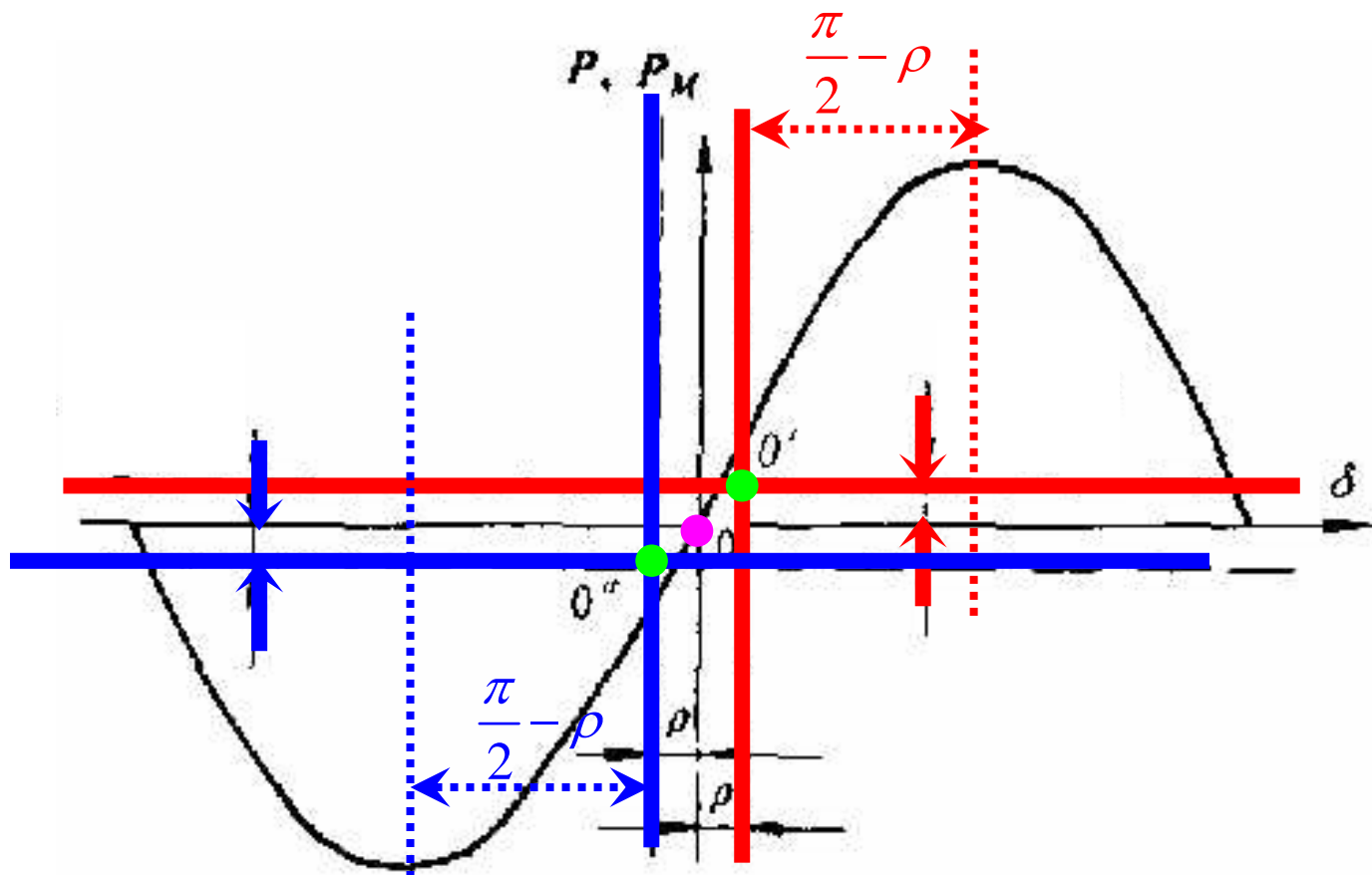
→ δ_N 越小, k_M 越大 →

在负载一定的情况下, 要减小 δ_N , 可减小 x_s , 即需有较大短路比 k_k , 则电机过载能力大

III 功角特性（考虑电枢电阻）

$$P = \frac{E_0 U}{z_s} \sin(\delta + \rho) - \frac{U^2}{z_s} \sin \rho \quad P_M = \frac{E_0 U}{z_s} \sin(\delta - \rho) + \frac{E_0^2}{z_s} \sin \rho$$

➤ 功角特性仍为正弦函数，仅使坐标原点产生位移



➤ 电枢电阻的存在，使最大功率**减小**

➤ 最大功率角在 δ 角的绝对值小于 **90°** 时出现

作业

- 思考题: $p.279$ 13-1~13-2
- 习题: $p.280$ 13-1
- 要求: 绘出相量图, 说明参考相量。

3. 凸极同步发电机的功角特性

➤ 功率表示式

➤ 功角特性

I 功率表达式

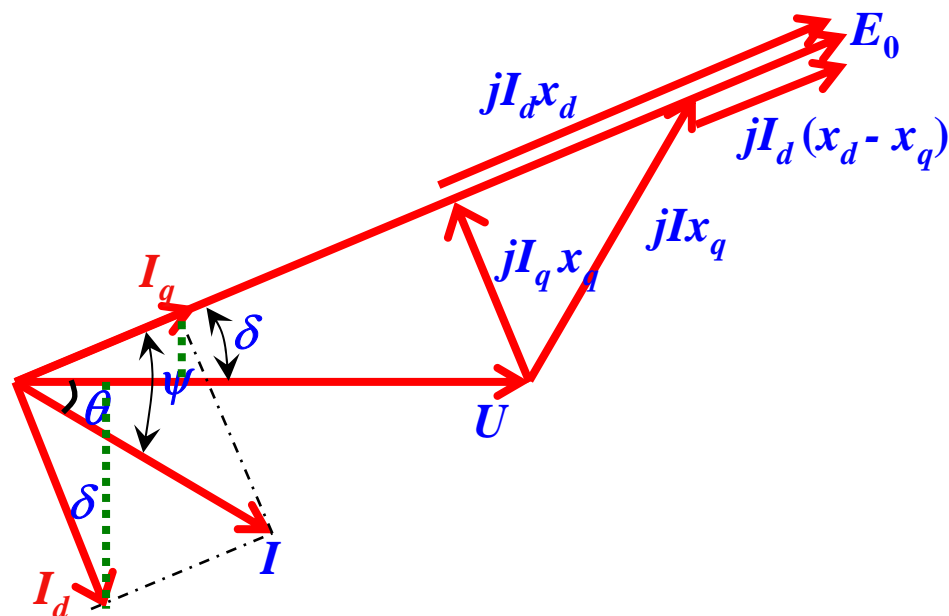
$$\begin{cases} I_q x_q = U \sin \delta \\ I_d x_d = E_0 - U \cos \delta \end{cases}$$



$$\begin{cases} I_q = \frac{U \sin \delta}{x_q} \\ I_d = \frac{E_0 - U \cos \delta}{x_d} \end{cases}$$



$$P = P_M = \frac{E_0 U}{x_d} \sin \delta + \frac{U^2 (x_d - x_q)}{2 x_d x_q} \sin 2 \delta$$



$$\begin{aligned} P = P_M &= UI \cos \theta = UI \cos (\psi - \delta) \\ &= \underbrace{UI_q \cos \delta}_{\text{pink}} + \underbrace{UI_d \sin \delta}_{\text{pink}} \end{aligned}$$

II 功角特性

$$P=P_M = \underbrace{\frac{E_0 U}{x_d} \sin \delta}_{\text{基本电磁功率}} + \underbrace{\frac{U^2 (x_d - x_q)}{2x_d x_q} \sin 2\delta}_{\text{附加电磁功率}}$$

基本电磁功率 附加电磁功率

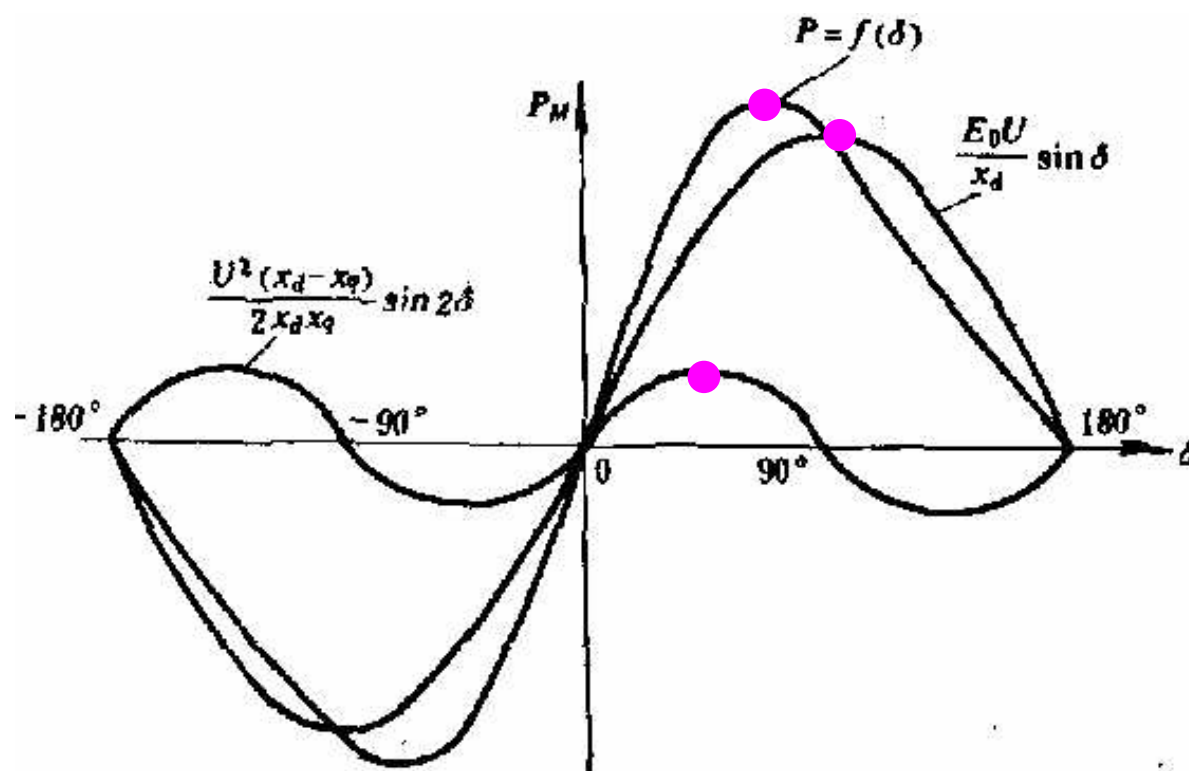
➤ **基本电磁功率**：定子电枢电流与转子励磁磁场之间的相互作用而形成

➤ **附加电磁功率**：凸极电机直轴和交轴位置的磁阻不相等引起，所以亦称为**磁阻功率**

注意：附加电磁功率与 E_0 无关，只与电网电压 U 有关，意味着即使 $E_0=0$ （转子无励磁），只要 U 不为零， δ 不为零， x_d 和 x_q 不相等，就会产生附加电磁功率

II 功角特性

$$P = \frac{E_0 U}{x_d} \sin \delta + \frac{U^2 (x_d - x_q)}{2 x_d x_q} \sin 2\delta$$



➤ 基本电磁功率最大值出现在 $\delta = 90^\circ$ 时;

➤ 附加电磁功率最大值出现在 $\delta = 45^\circ$ 时;

➤ 合成电磁功率最大值出现在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 之间;

➤ 凸极式电机的电磁功率比具有同样 E_0 、 U 和 x_d 的隐极式电机略大;

➤ 正常情况下, 附加电磁功率只占合成总功率的百分之几。

II 功角特性

- 因漏抗压降一般较小，端电压 U 和电枢合成电势 E 相差甚微，可近似认为 δ 为 E_0 和 E 之间的时间相角差，因此也就是转子磁场和空气隙合成磁场之间的空间位移角；
- 功角的数值决定着电机电磁功率的大小；
- 功角的正负决定着电机的运行方式；
- 当 $\delta > 0$ 时，转子磁场超前合成磁场，同步电机作为发电机运行
- 当 $\delta < 0$ 时，转子磁场滞后合成磁场，同步电机作为电动机运行

4. 同步发电机的有功功率调节

- 有功功率的调节
- 静态稳定的概念
- 动态稳定的概念

I 有功功率的调节

- 无穷大电网：交流电网装有调压、调频装置，其频率和电压基本上不受负载变化或其他扰动的影响，可认为其恒频、恒压
- 并联运行的特点：同步发电机并联到无穷大电网后，其频率和端电压将受到电网的约束而与电网相一致
- 输入机械功率 P_1 ，空载损耗 p_0 ，电磁功率 P_M ，输出电功率 P ，则功率平衡方程为：

$$P = P_M = P_1 - p_0$$

I 有功功率的调节

1.空载时: $P = P_M = 0$, $P_1 = p_0$, 处于平衡状态 $\rightarrow \delta = 0$

2.增加机械功率输入:

$P_1 > p_0$, $P_1 - p_0 > 0$, 则不能平衡

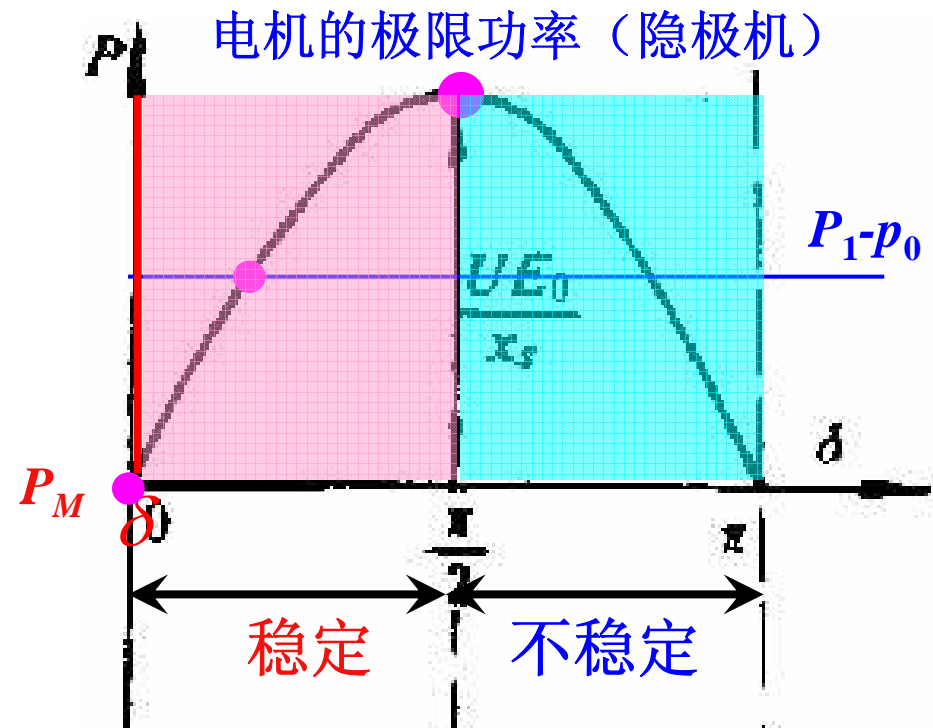
过渡过程: 电机加速, 转子磁场超前合成磁场 $\rightarrow \delta > 0$

随着 δ 增加, $P = P_M > 0$ 增加, 当达到 $P_1 - p_0 = P_M$ 时, 电机加速过程结束

稳定运行: 转化来的电磁功率, 使输出有功功率 P

可见: 发电机内部自动改变位移角 δ , 相应改变电磁功率和输出功率, 达到新的功率平衡。要调节发电机的输出有功, 只需要调节发电机的输入机械功率。

功率平衡 $P = P_M = P_1 - p_0$



问题:

- 若机械输入功率发生突然变化, 发电机的
运行状况
静态稳定
- 若发电机输出端发生突然变化, 发电机的
运行状况
动态稳定

II 静态稳定的概念

扰动：发电机输入功率的微小变化，发生瞬时的增大或者减小

静态稳定：发电机能在瞬时扰动消除后，继续保持原来的平衡运行状态

II 静态稳定的概念

a 点: $\Delta P_1 > 0$, 转子加速, $\delta_a + \Delta\delta = \delta_b$, ΔP_M

扰动消失后, $P_1 < P_{Mb} + P_0$, 转子减速
 $\delta_b - \Delta\delta = \delta_a$, 达到原有的功率平衡

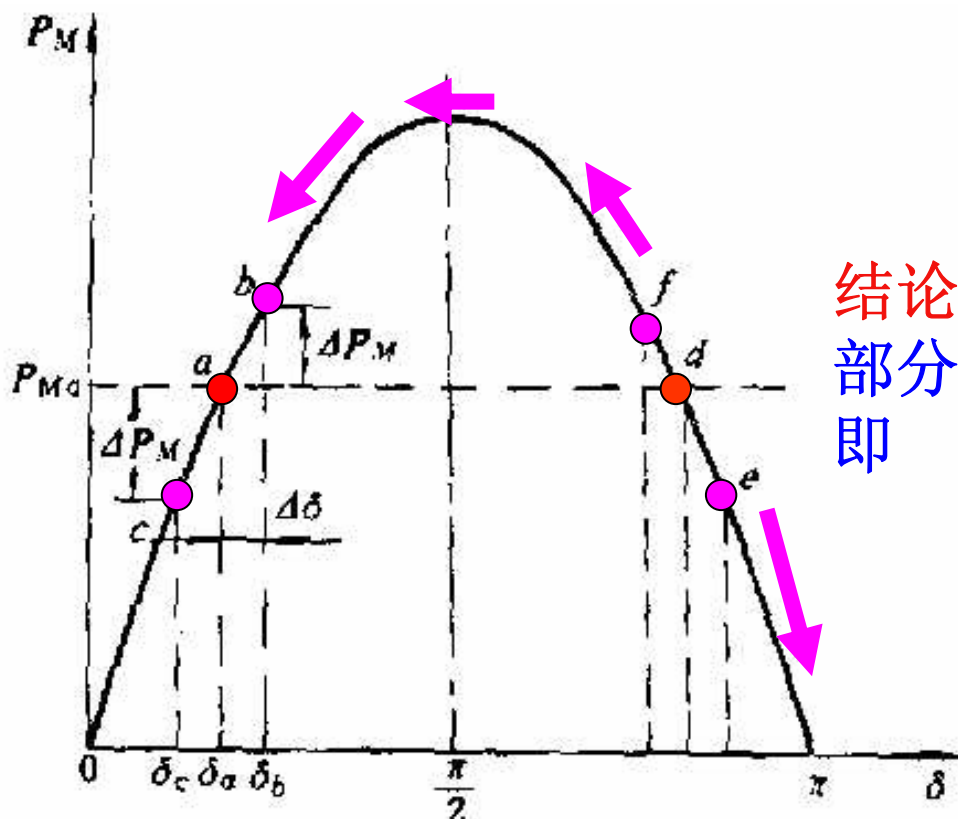
$\Delta P_1 < 0$ 时, 情况如何?

对 d 点, 情况又如何?

$\Delta P_1 > 0$? $\Delta P_1 < 0$?

a 点静态稳定

d 点静态不稳定

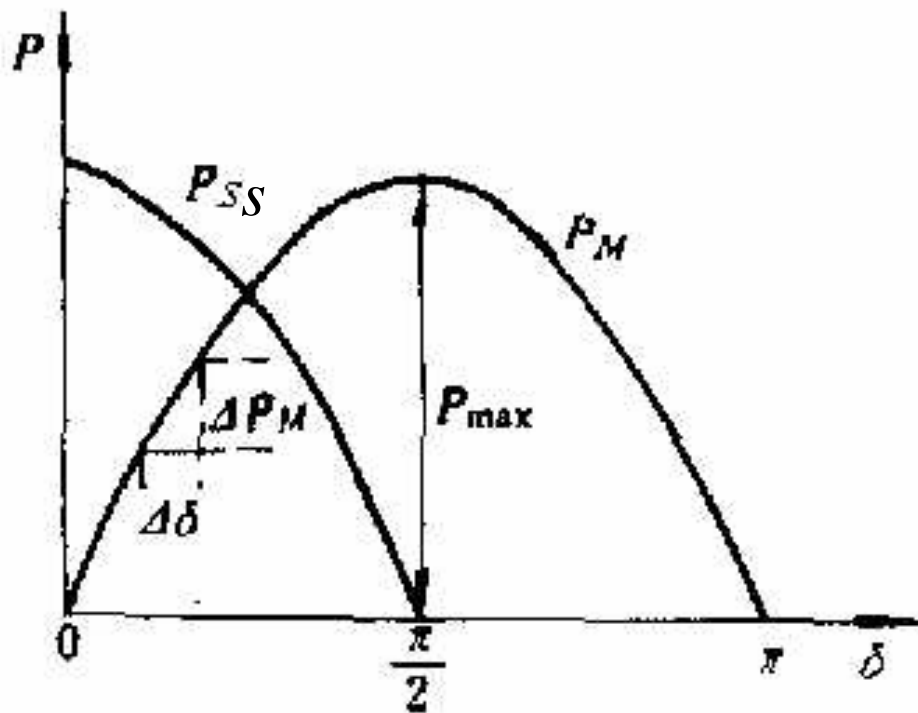


结论: 处于功角特性的曲线上升部分的工作点, 是静态稳定的, 即

$$\frac{dP_M}{d\delta} > 0$$

II 静态稳定的概念

隐极式电机比整步功率：
$$P_{ss} = \frac{dP_M}{d\delta} = \frac{E_0 U}{x_s} \cos \delta$$



P_{ss} 可表示发电机的稳定度：

➤ 空载时， $\delta=0$ ， P_{ss} 最大，最稳定

➤ $\delta=\pi/2$ ， $P_{ss}=0$ ，将进入不稳定状态

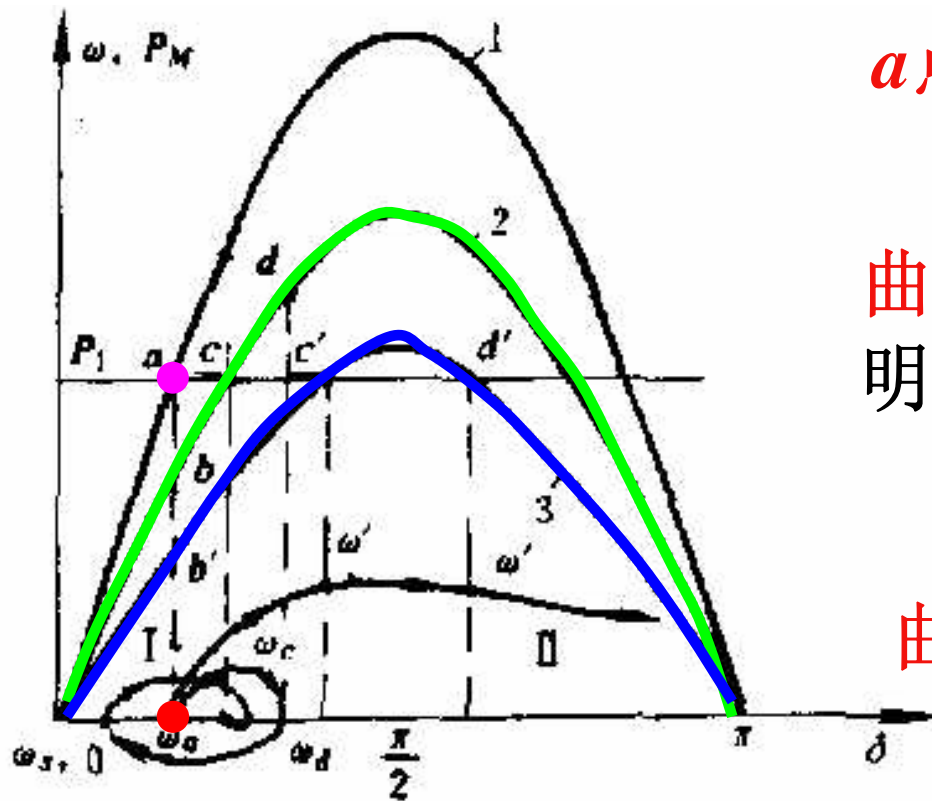
➤ $\delta>\pi/2$ ， $P_{ss}<0$ ，失去稳定

隐极机：
$$P_{ss} = \frac{E_0 U}{x_s} \cos \delta$$

凸极机：
$$P_{ss} = \frac{E_0 U}{x_d} \cos \delta + U^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\delta$$

III 动态稳定的概念

扰动： 负载突然变化（加载、卸载、短路、失磁、电压突变）， U 发生剧烈变化



a点： 原正常运行点

$$p_0=0, P_1=P_{Ma}$$

曲线2： 电网电压因事故明显降低

$$P_1 > P_{Mb} \quad P_1 = P_{Mc}$$

曲线3： 电压降低很大

$$P_1 \gg P_{Mb'}$$

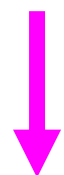
分析：比较下列情况电机的稳定性

- **短路比大小**：短路比大，则同步电抗小， P_{max} 大，一定 P 时， δ 角较小，稳定性好。
- **过励与欠励**：有功一定时，过励时 E_0 大， δ 角小，稳定性好。
- **轻载与满载**：励磁相同时， P_{max} 相同，轻载时 δ 角小，稳定性好。
- **直接接电网或通过电抗接电网**：通过外电抗接电网，则最大输出功率由电抗分配，较直接接电网时小，一定 P 时， δ 角较大，稳定性差。

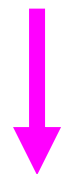
5. 无功功率的调节和V形曲线

➤ 不计电枢电阻时隐极电机的无功功率

$$E_0 \cos \delta = U + I x_s \sin \theta$$

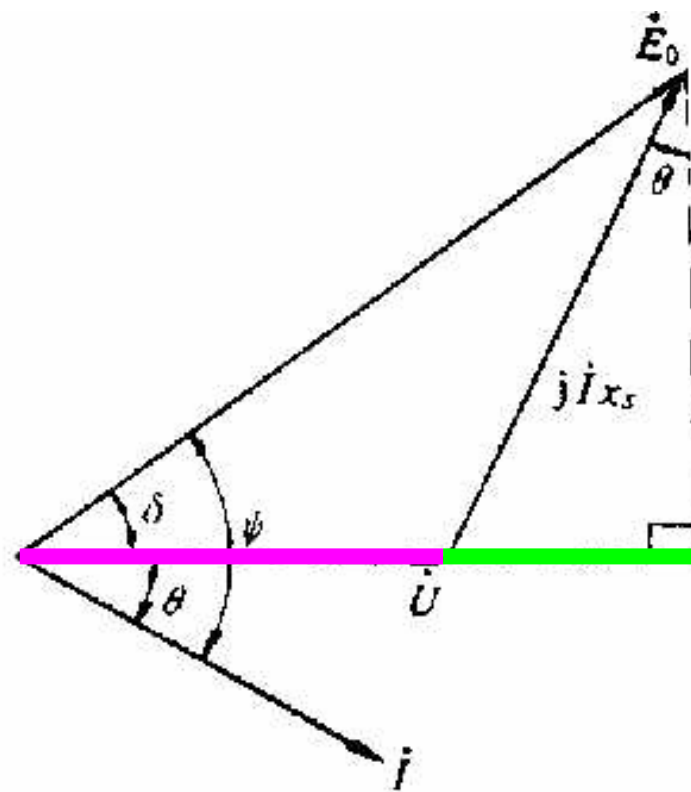


$$I \sin \theta = \frac{E_0 \cos \delta - U}{x_s}$$



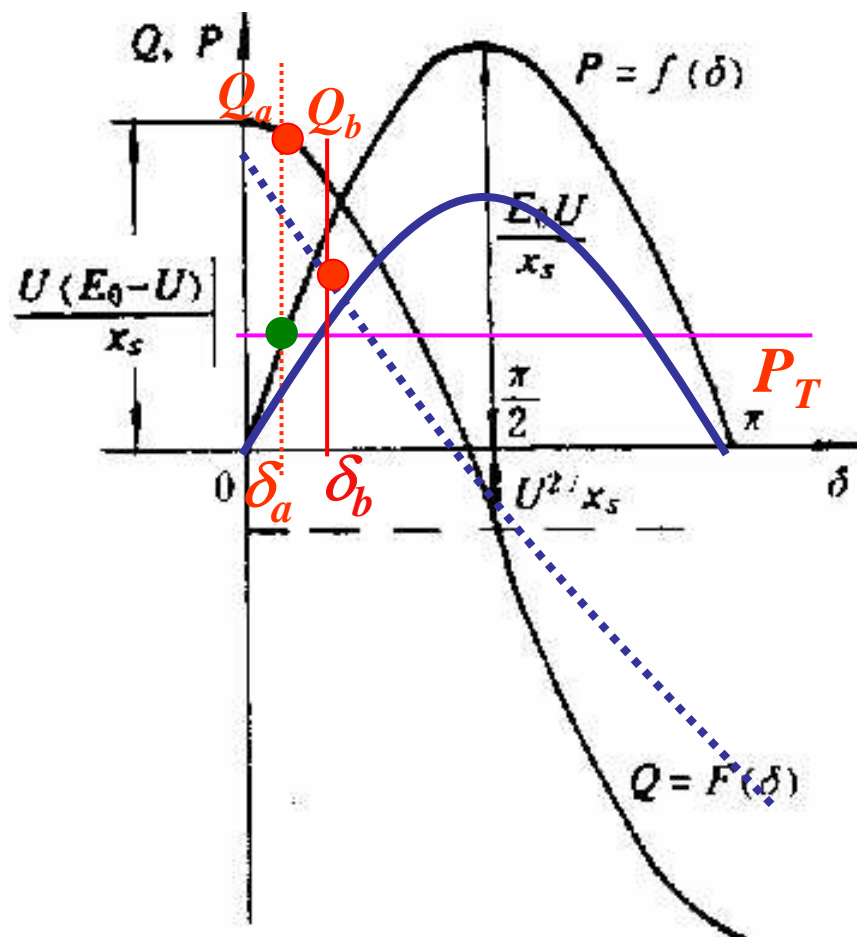
$$Q = UI \sin \theta$$

$$Q = \frac{E_0 U}{x_s} \cos \delta - \frac{U^2}{x_s}$$



5. 无功功率的调节和V形曲线

$$Q = \frac{E_0 U}{x_s} \cos \delta - \frac{U^2}{x_s}$$



➤ 设功率为 P_T ，运行于 **a** 点，功角 δ_a ，无功为 Q_a

➤ 假设原动机有功功率不变，减小励磁电流，则 E_0 减小

➤ 功角特性幅值降低，运行点变为 **b** 点，功角为 δ_b ，相应无功变为 Q_b ，即减小了无功输出

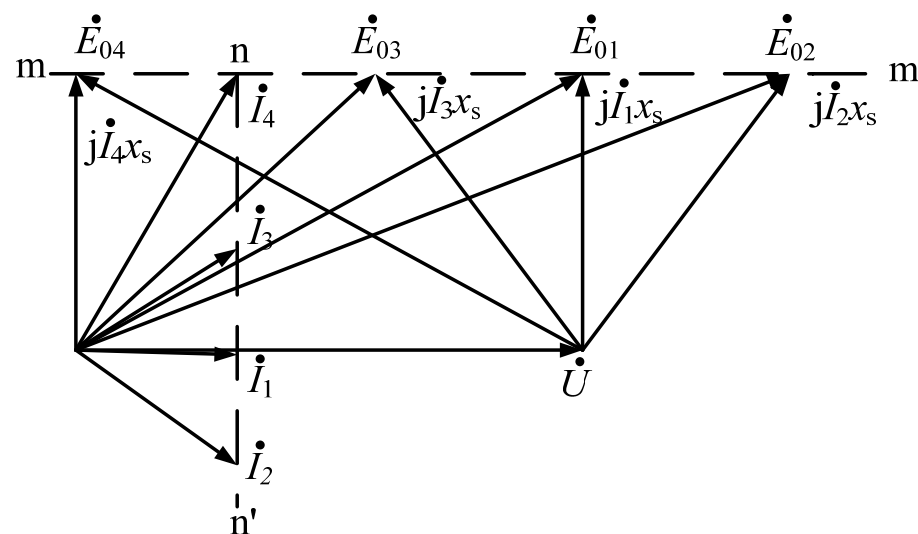
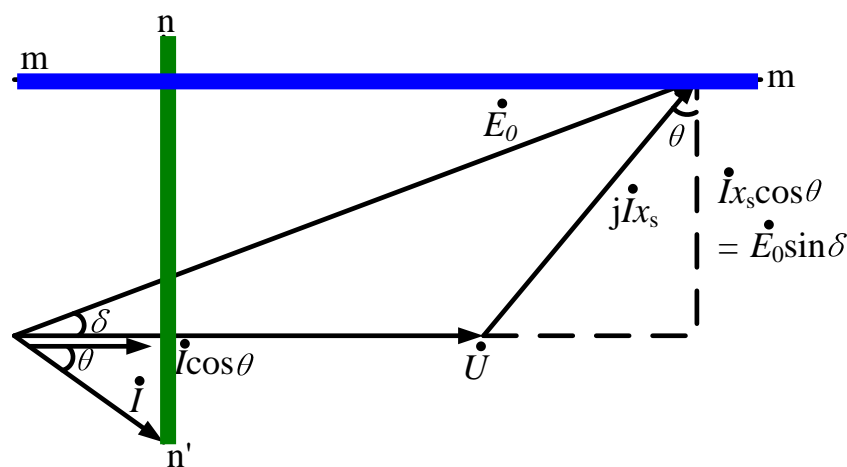
➡ 静态稳定度降低

5. 无功功率的调节和V形曲线

当发电机有功功率 P 不变时，

$$\begin{cases} P = UI \cos \theta = \text{const} \\ P_M = \frac{E_0 U}{x_s} \sin \delta = \text{const} \end{cases} \xrightarrow[\textcolor{red}{x_s = \text{const}}]{\textcolor{red}{U = \text{const}}} \begin{cases} \underline{I \cos \theta = \text{const}} \\ \underline{E_0 \sin \delta = \text{const}} \end{cases}$$

当调节励磁时， E_0 发生变化，使定子电流 I 和功率因数同时变化



5. 无功功率的调节和V形曲线

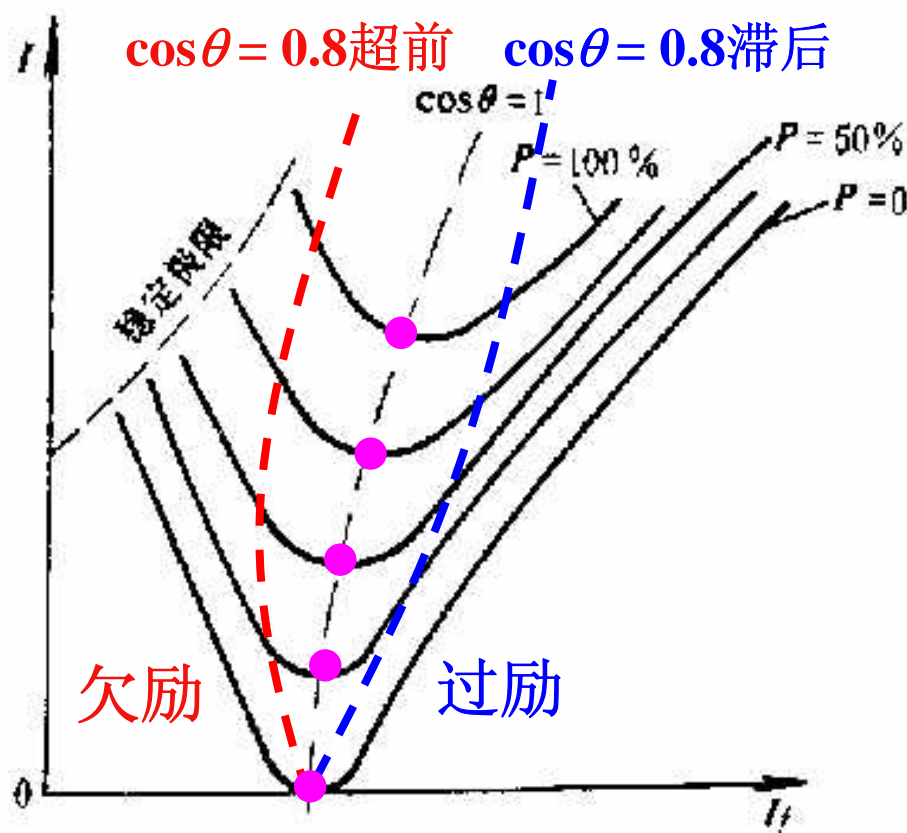
结论：无功功率调节特性

- 当发电机与无穷大电网并联时，调节励磁电流的大小，就可以改变发电机输出的无功功率，不仅能改变无功功率的大小，而且能改变无功功率的性质。
- 当过励时，电枢电流是滞后电流，发电机输出感性无功功率。
- 当欠励时，电枢电流是超前电流，发电机输出容性无功功率。

5. 无功功率的调节和V形曲线

V形曲线：有功功率保持不变时，电枢电流 I 和励磁电流 I_f 之间关系的曲线 $P=\text{const}$, $I=f(I_f)$

- 对应于不同的有功功率，有不同的V形曲线。当输出功率愈大时，曲线愈向上移
- 对于每一给定的有功功率都有一允许的**最少励磁**，进一步**减小励磁**将使发电机失去稳定
- 不改变输入机械功率，仅调节**励磁**，只会改变**无功**，并不会改变**有功**



例题分析 (p.268 13-3)

一台汽轮发电机在额定运行情况下的功率因数为**0.8**（滞后），同步电抗为 $x_s^*=1.0$ 。该机并联在电压保持额定值的无穷大汇流排上。

(1) 试求当该机供给**90%**额定电流时且有额定功率因数时，输出的有功功率和无功功率。这时的空载电动势 E_0 和功角 δ 为多少？

(2) 如调节原动机的输入功率，使该机输出的有功功率达到额定运行情况的**110%**，励磁保持不变，这时的 δ 角为多少度？该机输出的无功功率将如何变化？如欲使输出的无功功率保持不变，试求空载电动势 E_0 及位移角 δ 的数值。

(3) 如保持原动机方面的输入功率不变，并调节该机的励磁，使它输出的感性无功功率为额定运行情况下的**110%**，试求此时的空载电动势 E_0 和功角 δ 的数值。

分析:

1. 并联在无穷大电网上, 不论输入机械功率、励磁电流和负载如何变化, 则输出电压保持为额定电压;

$$\dot{U}_* = 1\angle 0^\circ = 1 + j0$$

2. 计算空载电动势 $\dot{E}_{0*} = \dot{U}_* + j\dot{I}_*x_{s*}$

需先知道输出电流的相量 $\dot{I}_* = I\angle\theta = I_{a*} + jI_{r*}$

解: (1) 90%额定电流, 且有额定功率因数, 则

$$I = 0.9 \quad \cos\theta = 0.8(\text{滞后})$$

$$\dot{I}_* = I\angle\theta = 0.9 * (0.8 - j0.6) = 0.72 - j0.54$$

输出有功功率为**0.72**, 无功功率为**0.54**

空载电动势 $\dot{E}_{0*} = 1 + j(0.72 - j0.54) * 1 = 1.54 + j0.72 = 1.70\angle 25.1^\circ$

(2) 如调节原动机的输入功率，使该机输出的有功功率达到额定运行情况的110%，励磁保持不变，这时的 δ 角为多少度？该机输出的无功功率将如何变化？如欲使输出的无功功率保持不变，试求空载电动势 E_0 及位移角 δ 的数值。

解：有功为额定的110%，则 $P_* = 0.8 * 1.1 = 0.88$

励磁保持不变，则空载电动势 $E_0 = 1.70$ （大小不变）

$$\text{由功角特性 } P_* = \frac{E_0 U_*}{x_{s*}} \sin \delta, \text{ 计算出 } \delta = 31.2^\circ$$

励磁不变，有功增加，则 δ 增加，无功减少

根据电压方程式，反过来计算输出电流

$$j\dot{I}_* x_{s*} = \dot{E}_{0*} - \dot{U}_* = 1.70(\cos 31.2 + j \sin 31.2)1 + j(0.72 - j0.54) - 1 = 0.454 + j0.88$$

$$-\dot{I}_* = j0.454 - 0.88$$

$$\dot{I}_* = 0.88 - j0.454$$

(2) 如欲使输出的无功功率保持不变, 试求空载电动势 E_0 及位移角 δ 的数值。

$$\dot{I}_* = 0.88 - j0.54$$

$$\dot{E}_{0*} = 1 + j(0.88 - j0.54) * 1 = 1.54 + j0.88 = 1.77 \angle 29.8^\circ$$

(3) 如保持原动机方面的输入功率不变, 并调节该机的励磁, 使它输出的感性无功功率为额定运行情况下的110%, 试求此时的空载电动势 E_0 和功角 δ 的数值。

解: 保持有功不变, 即 $I_a^* = 0.72$ 。

无功为额定的110%, 则 $I_r^* = 0.6 * 1.1 = 0.66$

根据电压方程式计算空载电动势

$$\dot{E}_{0*} = \dot{U}_* + j\dot{I}_* x_{s*} = 1 + j(0.72 - j0.66) * 1 = 1.66 + j0.72 = 1.81 \angle 23.5^\circ$$

空载电动势的有效值增加到1.81, 功角 δ 减小到23.5°。

思考题

➤发电机的定子电流的功率因数的确定

- 1.单独给对称负载供电时，由负载阻抗决定；
- 2.与大电网并联时，负载由电网供给。

发电机担负的有功功率由其原动机的功率大小决定；

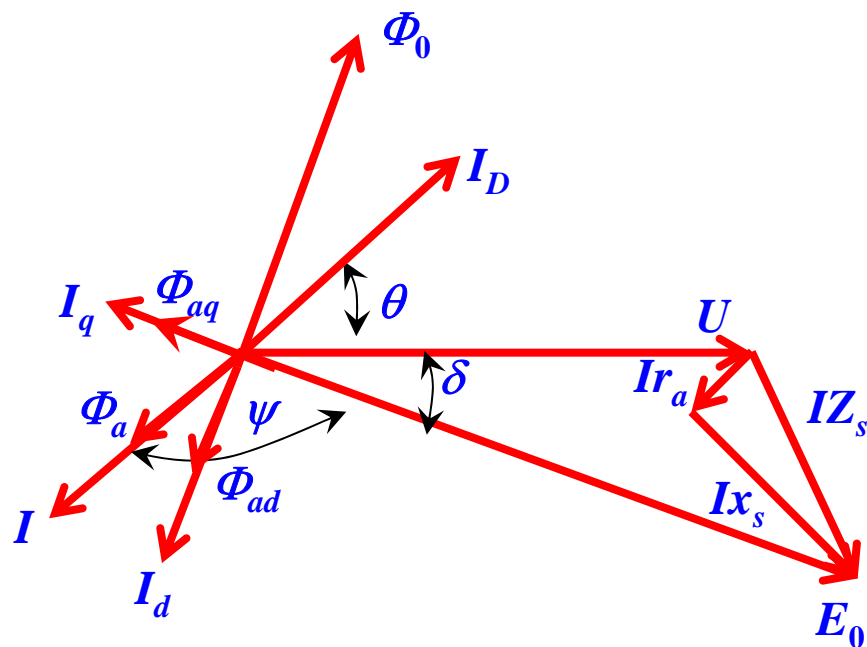
发电机担负的无功功率决定于发电机的励磁电流，过励时功率因数滞后，欠励时功率因数超前。

6. 同步电动机与同步补偿机

- 同步电动机运行分析
- 同步电动机的起动
- 同步补偿机

I 同步电动机运行分析

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I} \left[r_a + j(x_a + x_\sigma) \right] = \dot{U} + \dot{I} (r_a + jx_s) = \dot{U} + \dot{I} Z_s$$

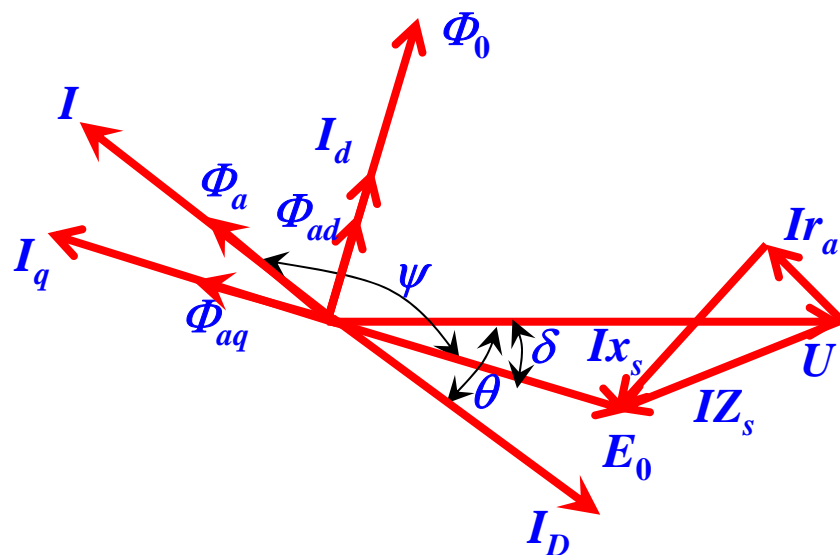


$$\frac{\pi}{2} < \psi < \pi$$

电动机处于过励状态

I 同步电动机运行分析

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I} \left[r_a + j(x_a + x_\sigma) \right] = \dot{U} + \dot{I} (r_a + jx_s) = \dot{U} + \dot{I} Z_s$$



$$-\frac{\pi}{2} > \psi > -\pi$$

电动机处于
欠励状态

I 同步电动机运行分析

- 判断电动还是发电运行，只需要看 I_q 和 E_0 的相位关系：
 - I_q 和 E_0 同方向，发电运行；
 - I_q 和 E_0 反方向，电动运行；
- 判断过励还是欠励运行，只需要看 I_d 和 Φ_0 的相位关系：
 - I_d 和 Φ_0 同方向，欠励运行；
 - I_d 和 Φ_0 反方向，过励运行；
- 调节同步电动机的励磁，可以改变它的输入电流的功率因数，而异步电动机的功率因数总是滞后的

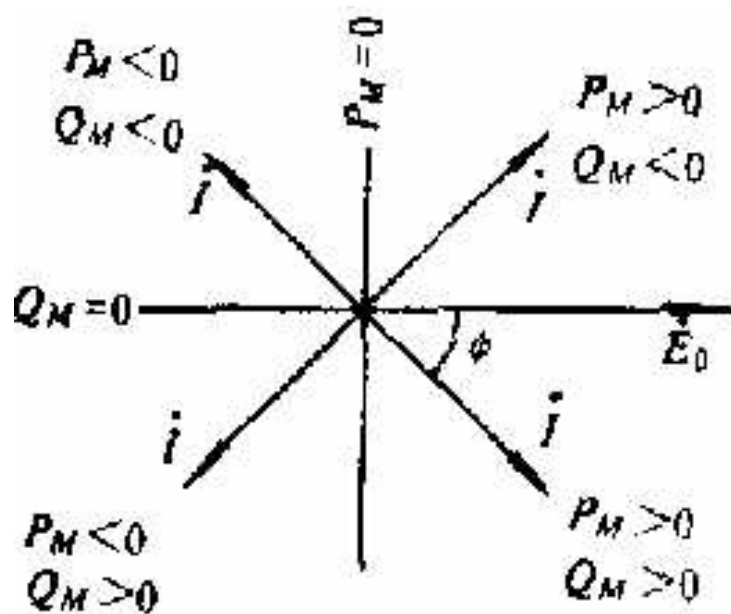
II 同步电动机的起动

- 同步电机在定子直接投入电网，转子加上直流励磁的条件下，无法自行起动，必须借助其他方法
- 异步起动法
在同步电机转子上装阻尼绕组获得起动转矩
- 辅助电动机起动法
- 变频起动法

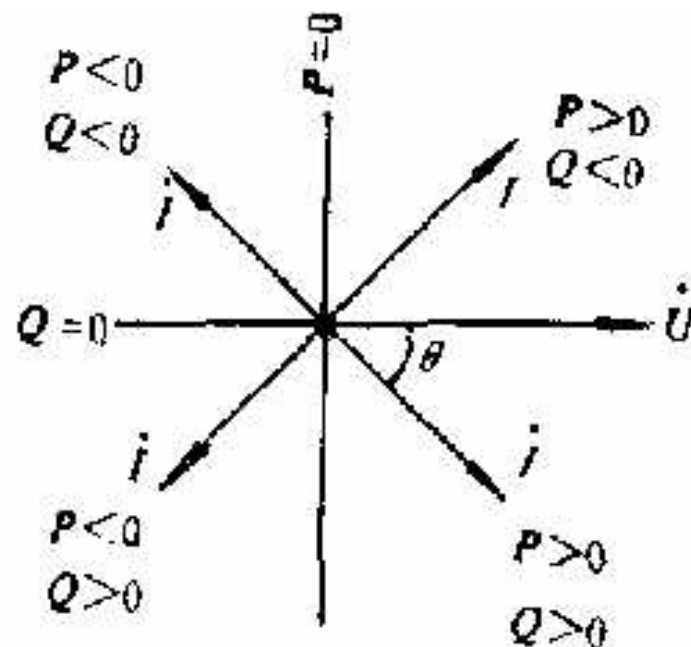
III 同步补偿机

- **定义：**根据调节励磁即可调节同步电动机的无功电流和功率因数这一特点，专门设计的用以改善电网功率因数、不带任何机械负载的同步电机，亦称为同步调相机。
- **本质：**空载运行的电动机，不吸收有功功率，过励时，对电网供给感性无功功率。
- **运行状况：**电磁功率接近零，零功率因数
- **特殊应用：**在电网基本空载，由于长输电线电容影响，使受电端电压偏高时，可将同步补偿机在欠励下运行，以保持电网电压的稳定。

同步电机不同运行状态



(a) 以电磁功率为准



(b) 以外功率为准

同步电机的各种运行情况

$$P_M - P = p_{cu1} = I^2 r_a$$

$$Q_M - Q = I^2 x_s \quad (\text{隐极机})$$

$$Q_M - Q = I_d^2 x_d + I_q^2 x_q \quad (\text{凸极机})$$

作业

- 习题: $p.280$ 13-2~13-4、13-6
- 要求: 绘出相量图, 说明参考相量, 熟练掌握凸极电机相量图的作法, 尽量用标幺值进行分析计算